

**17-ASIS FIZIKOS TURNYRAS**  
**10-oji užduotis Nr. FT17-10 / 2024 01 29 – 2024 02 25**

**Trys vyksmai**

**Sąlyga / FT17-10 ▼**

Degunies dujų pradinio būvio parametrai: slėgis  $p_0 = 100$  kPa, tūris  $V_0 = 3$  l ir temperatūra  $t_0 = 17$  °C. Dujų tūris buvo sumažintas  $c = 2$  kartus trimis žinomais termodinaminiais vyksmais: izobariniu, izoterminiu ir adiabatiniu. Palyginkite tuos vyksmus, nubraižę slėgio priklausomybes nuo tūrio, ir raskite:

- 1) Dujų masę (g);
- 2) Slėgio pokyčius (kPa);
- 3) Temperatūros pokyčius (°C);
- 4) Molekulių koncentracijos pokytį ( $\text{cm}^{-3}$ );
- 5) Dujų darbą (J).

*Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 01 29.

**Aiškinamasis sprendimas / FT17-10 ▼**

Duota:  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Pa;  $V_0 = 0,003$  m<sup>3</sup>;  $T_0 = 290$  K;  $c = 2$ ;  $M = 0,032$  kg/mol;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>;  $R = 8,31$  J/(K·mol).

Rasti:  $m$ ;  $\Delta p$ ;  $\Delta T$ ;  $\Delta n$ ;  $A'$ .

Dujų masę randame iš Klapeirono ir Mendelejevo lygties:

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} R T_0; \quad m = \frac{p_0 V_0 M}{R T_0};$$

$$m = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0,003 \cdot 0,032}{8,31 \cdot 290} \approx 4 \text{ (g)}.$$

Izobarinio vyksmo metu dujų slėgis nekinta ( $p_1 = p_0$ ), tai jo pokytis lygus nuliui:  $\Delta p = p_1 - p_0 = 0$ . Tai vyksta dujas šaldant, kai nekintamai masei ir slėgiui jų temperatūros pokytis yra tiesiai proporcingas tūrio pokyčiui nuo  $V_0$  iki  $V_1 = V_2 = V_3 = V_0/c$ :

$$p_1 V = \frac{m}{M} R T_1; \quad \Delta T_1 = T_1 - T_0 = T_0 \left( \frac{V_1}{V_0} - 1 \right) = T_0 \left( \frac{1}{c} - 1 \right);$$

$$\Delta T_1 = 290 \left( \frac{1}{2} - 1 \right) = -145 \text{ (K)}.$$

Taigi, izobarinio vyksmo metu dujų temperatūra sumažėja 145 °C nuo  $t_0 = 17$  °C iki  $t_1 = -128$  °C.

Dujų molekulių skaičius  $N$  nekinta, tai molekulių koncentracija padidės nuo  $n_0$  iki  $n_1$  tik dėl tūrio sumažėjimo:

$$\Delta n = n_1 - n_0 = \frac{N}{V_1} - \frac{N}{V_0} = \frac{m N_A}{M V_0} (c - 1) = \frac{p_0 N_A}{R T_0} (c - 1);$$

$$\Delta n = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 290} (2 - 1) \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}.$$

Taigi, molekulių koncentracija padidėja du kartus nuo  $n_0 = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  iki  $n_1 = 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  nepriklausomai nuo termodinaminio vyksmo.

Izobariniame vyksme dujų atliekamas darbas yra tiesiai proporcingas jų tūrio pokyčiui:

$$A'_1 = p_0 \Delta V = p_0 (V_1 - V_0) = p_0 V_0 \left( \frac{1}{c} - 1 \right); \quad A'_1 = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,003 \left( \frac{1}{2} - 1 \right) = -150 \text{ (J)}.$$

Izoterminiame vyksme dujų temperatūra nepakinta ( $T_2 = T_0$ ), tai jos pokytis lygus nuliui:  $\Delta T_2 = T_2 - T_0 = 0$ . Dujų slėgio pokytį rasime slėgius ir tūrius susieję pagal Boilio ir Marioto dėsnį:

$$p_2 V_2 = p_0 V_0; \quad \Delta p_2 = p_2 - p_0 = p_0 (c - 1); \quad \Delta p_2 = 100(2 - 1) = 100 \text{ (kPa)}.$$

Gavome, kad slėgis padidėja du kartus – nuo  $p_0 = 100 \text{ kPa}$  iki  $p_2 = 200 \text{ kPa}$ .

Dujų darbą  $A'_2$  rasime integruodami jų slėgio priklausomybės nuo tūrio funkciją  $p(V)$ :

$$p(V) = \frac{p_0 V_0}{V}; \quad A'_2 = p_0 V_0 \int_{V_0}^{V_2} \frac{dV}{V} = p_0 V_0 \ln \frac{V_2}{V_0} = p_0 V_0 \ln \frac{1}{c};$$

$$A'_2 = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,003 \ln \frac{1}{2} \approx -208 \text{ (J)}.$$

Adiabatiniame vyksme nėra šilumos mainų tarp dujų ir aplinkos (perduotas šilumos kiekis  $Q = 0$ ), o dujų slėgio pokytį galime įvertinti iš slėgio ir tūrio sąsajos pagal Puasono lygtį:

$$p_3 V_3^\gamma = p_0 V_0^\gamma.$$

Toje lygtyje  $\gamma = 1,4$  – Puasono koeficientas deguoniui, nes tai dviatomės dujos.

Dujų slėgio pokytis:

$$\Delta p_3 = p_3 - p_0 = p_0 \left[ \left( \frac{V_0}{V_3} \right)^\gamma - 1 \right] = p_0 (c^\gamma - 1); \quad \Delta p_3 = 100(2^{1,4} - 1) \approx 164 \text{ (kPa)}.$$

Gavome, kad dujų slėgis padidėja 64 kPa daugiau, nei izoterminiame vyksme.

Puasono lygtyje išrašę dujų slėgio ir tūrio sandaugas pagal Klapeirono ir Mendelejevo lygtį, rasime dujų tūrio ir temperatūros sąryšius, o ir temperatūros pokytį  $\Delta T_3$ :

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1}; \quad \Delta T_3 = T_3 - T_0 = T_0 \left[ \left( \frac{V_0}{V_3} \right)^{\gamma-1} - 1 \right] = T_0 (c^{\gamma-1} - 1);$$

$$\Delta T_3 = 290(2^{1,4-1} - 1) \approx 92,7 \text{ (K)}.$$

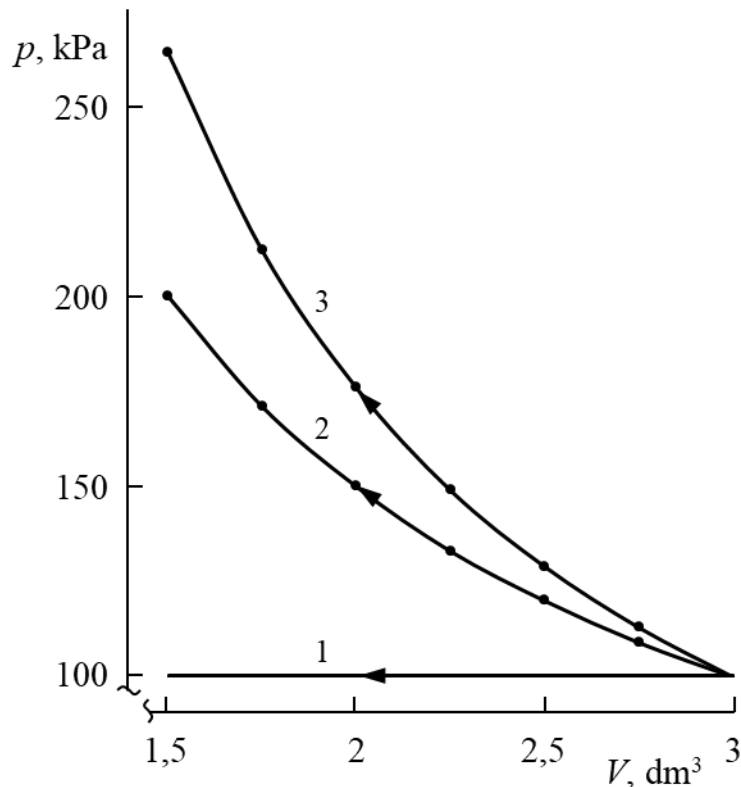
Radome, kad dujos išyla – jų temperatūra pakyla apie  $93 \text{ }^\circ\text{C}$  nuo  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  iki  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . Taigi, padidėja dujų vidinė energija, o jos pokytis:

$$\Delta U_3 = \frac{i}{2} (p_3 V_3 - p_0 V_0) = \frac{i}{2} p_0 V_0 \left( \frac{c^\gamma}{2} - 1 \right).$$

Toje formulėje  $i = 5$  – dviatomųjų dujų (deguonies) laisvės laipsnių skaičius.

Pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį adiabatiniame vyksme dujų darbas  $A'_3$  lygus jų vidinės energijos pokyčiui su priešingu ženklu:

$$A'_3 = -\Delta U_3 = \frac{i}{2} p_0 V_0 \left( 1 - \frac{c^\gamma}{2} \right); \quad A'_3 = 2,5 \cdot 10^5 \cdot 0,003 (1 - 2^{1,4-1}) \approx -240 \text{ (J)}.$$



Taigi, adiabatiskai mažinant dujų tūrį, jų slėgis padidėja labiau (kreivė 3), nei izotermiškai (kreivė 2). Temperatūra tik čia padidėja dujas suspaudžiant, o ir mažiau laipsnių, nei ji sumažinama izobariškai jas šaldant. Visuose vyksmuose mažinamo tūrio dujų darbas yra neigiamas, o jo modulis adiabatiniame vyksme yra didžiausias.

*Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 28.

#### **Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT17-10 ▼**

Užduotį nepriekaištingai išsprendė trys turnyro dalyviai.

*Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 28.

#### **Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT17-10 ▼**

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Dujų masė ir molekulių koncentracijos pokytis	2
2.	Slėgio ir temperatūros pokyčiai	4
3.	Dujų darbas	2
4.	Slėgio grafinės priklausomybės	2
5.	Nerodomi skaičiavimai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-3)	-0,5
6.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-4)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

*Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 28.